

Vergleichende Untersuchungen über die
Tiefenerwärmung im Kurzwellen-Kondensatorfeld
bei 6- und 11 m-Wellenlänge

von

ARND HEINRICH SINGER

Aus dem Institut für Röntgenologie und
Physikalische Therapie der Universität
München

Vorstand: Prof.Dr. H.v.Braunbehrens

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
TIEFENERWÄRMUNG IM KURZWELLEN-KONDENSATOR-
FELD BEI 6- UND 11m-WELLENLÄNGE.

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
verfaßt und einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilian-Universität
zu München



vorgelegt von
Arnd Heinrich S i n g e r
aus Garmisch-Partenkirchen
1957

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Referent: Prof.Dr. H.v. Braunbehrens

Dekan: Prof.Dr. H. Büngeler

Tag der mündlichen Prüfung: 7.Nov.1957

G l i e d e r u n g

	Seite
I. Einleitung	2
II. Bisherige Untersuchungen	3
III. Eigene Untersuchungen	11
A. Zielsetzung	
B. Methodik	
IV. Ergebnisse	20
V. Diskussion	28
VI. Zusammenfassung	33
VII. Literatur	35

Einleitung

Aufgrund einer auf der Konferenz von Atlantic City 1947 getroffenen internationalen Vereinbarung wurde die Arbeitsfrequenz für die Kurzwellentherapie festgelegt. ¹⁾ Erlaubt sind künftig nurmehr die Wellen von 12,5 cm, 7,27 m, 11,05 m und 22,12 m. Damit ist die Benutzung der in Deutschland bisher üblichen Wellenlänge von 6 m bei Kurzwellengeräten durch gesetzliche Bestimmungen ausgeschlossen und die noch in Benutzung befindlichen Geräte sollen innerhalb kurzer Frist aus den Betrieben entfernt werden.

Nach dem Verlassen der 6-m-Welle stehen somit im entsprechenden Bereich die 7,27 m - und 11,05 m-Welle zur Verfügung. Es läge der Gedanke nahe, um möglichst dicht an der therapeutisch bewährten 6 m-Welle zu bleiben, die KW-Geräte auf der Länge von 7,27 m arbeiten zu lassen. Dieser Weg ist jedoch durch die festgelegten Genauigkeitsanforderungen kaum begehbar. Die verlangte Genauigkeit beträgt nämlich bei Anwendung der 7,27 m-Welle $\pm 0,05 \%$, wohingegen sie bei 11,05 m nur mit $\pm 0,6 \%$ festgelegt wurde. Diese Zahlen zeigen, daß die zulässigen Abweichungen für die 11,05 m-Welle zwölfmal größer sind als diejenigen der 7,27 m-Welle.

Hieraus ergeben sich weitreichende technische Konsequenzen. Die angegebenen Genauigkeitsanforderungen gestatten es, 11,05 m-Geräte in der bisher üblichen Form als selbsterregte Sender zu konstruieren. Ein den Anforderungen genügendes 7,27 m-Gerät müßte jedoch mit einer quarzgesteuerten Vorstufe ausgestattet sein, die ihrerseits wieder die leistungsstarke Endstufe steuert. Solche Geräte erfordern einen erheblich grösseren technischen Aufwand, was einerseits die Baukosten erhöht, andererseits - im Gegensatz zum konstruktiv einfacheren 11,05 m-Gerät - technische Störungsquellen schafft.

Nachdem somit aus technischen Erwägungen der 11,05 m-Welle der Vorzug zu geben wäre, muß geprüft werden, inwieweit diese Wellenlänge in ihrer therapeutischen Wirksamkeit sich von der früheren 6 m Welle unterscheidet.

Bisherige Untersuchungen

Die bisherigen Untersuchungen beschäftigten sich im wesentlichen mit der Frage nach der Spezifität bestimmter Wellenlängen hinsichtlich ihrer optimalen Wirkung in gewissen Gewebsarten oder -schichten, zum anderen wurde die Frage der Tiefenwirkung verschiedener Wellenlängen von einer Reihe von Autoren untersucht.

Hinsichtlich der spezifischen Wirkung einzelner Wellenlängen in bestimmten Gewebsschichten oder gar bei Erkrankung bestimmter Organe finden sich in der Literatur seit der Einführung der Kurzwellenbehandlung, die sich etwa seit 1930 durchgesetzt hat, sehr unterschiedliche Beurteilungen. Es sei auf die Behandlung einzelner Autoren hingewiesen, daß bei der Behandlung bestimmter Krankheiten eine ganz bestimmte Wellenlänge besonders wirksam, andere unwirksam, ja sogar schädlich seien. Mit Recht lehnt K o w a r s c h i k ²⁾ derartige Behauptungen ab und sagt: "Apparate mit nach Wahl verstellbaren Wellenlängen, wie sie früher gebaut wurden, haben sich als überflüssig erwiesen, da für die Annahme einer spezifisch therapeutischen Wirkung bestimmter Wellenlängen bisher kein Beweis erbracht werden konnte." Im gleichen Sinne äußert sich R a a b ³⁾ 1937: "Die Erfahrungen haben gelehrt, daß es vollkommen gleichgültig ist, welche Wellenlänge man im Kw-Bereich anwendet, wenn nur die Frage der Tiefenwirkung hier beachtet bleibt. Bis jetzt bestehen nach meinen Erfahrungen und nach denen vieler anderer Autoren keine grundlegenden Unterschiede, ob man 4, 6, 8 oder 12 m anwendet. Die Erfolge sind in diesen Wellenlängen gleich gut." Nach K o w a r s c h i k ⁴⁾ "weichen die Leitfähigkeiten und Dielektrizitätskonstanten der verschiedenen menschlichen Gewebe (mit Ausnahme des Haut- und des Fettgewebes) zu wenig von einander ab, um wesentliche Unterschiede in der Erwärmung zu ergeben." Diese Unterschiede würden, falls sie doch zustande kämen, durch den nivellierenden Einfluß des Blutstromes sofort wieder ausgeglichen. Weil aber auch die ganz tief liegenden Schichten an der Umwandlung von Hochfrequenz-Energie in Wärme beteiligt werden sollen, weist

P ä t z o l d ⁵⁾ auf die Kondensatorfeldmethode hin als der einzigen, bei der auch die in größter Körpertiefe gelegenen Organe und die allseits durch schlecht leitende Schichten abgekapselten Gewebe, z.B. das Knochenmark, direkt vom Feld erfaßt werden. Die dabei stets höhere Temperatur als Muskel und andere Gewebe annehmende Haut und Unterhaut nimmt der Autor dabei in Kauf und stellt fest, daß die zugelassenen Wellenlängen von 11,05 m und 7,38 m dabei "nur sehr geringfügig" differieren.

Zu derselben Zeit stellt S c h ä f e r ⁶⁾ fest: "Je größer die Frequenz ist, d.h. je kürzer die Wellenlänge, umso schwerer können die Dipole dem Wechsel des Feldes folgen. Die Polarisation des Dielektrikums wird also nur in einem umso schwächeren Maße erfolgen können. Das bedeutet aber praktisch nichts anderes, als daß die Dielektrizitätskonstante des Dielektrikums mit steigender Frequenz absinken muß." Auch sagt der gleiche Autor ⁷⁾, daß "die Wellenlänge zwischen 5 - 6 m für unsere gynäkologischen Zwecke wenigstens bezüglich der Wärmewirkung zur Zeit optimal sei." Seine Auswertungen "zeigen übereinstimmend eine Steigerung der am Beckenphantom erhaltenen Temperaturwerte bei Wellenlängen von 4 und 5,5 m und dann eine schwächere Senkung bis zu 15 m". 1939 findet R a a b ⁸⁾ selektive Erwärmungsvorgänge in den einzelnen Gewebsschichten "in hohem Maße bei Wellenlängen oberhalb von etwa 10 m", während sich bei kürzeren Wellenlängen die Widerstandswerte der einzelnen Schichten mit Ausnahme des Fettes einander angleichen. Aus der verschiedenen starken Erwärmung der beiden untersuchten Schichten ergibt sich nach diesem Autor für die Änderung der Absorptionskoeffizienten von Fett und Muskulatur wie für die Abhängigkeit der Verhältniszahlen von den verschiedenen Wellenlängen die folgende Tabelle:

	<u>W e l l e n l ä n g e</u>		
	<u>3 m</u>	<u>6 m</u>	<u>12 m</u>
Muskel	85	113	119
Fettgewebe	720	1385	1800
Verhältnis (Muskel zu Fett)	1:8,47	1:12,26	1:15,13

Wie die vorstehende Tabelle zeigt, sah man das vordringliche Problem darin, den Unterschied in der Erwärmung von Muskel und

Fettgewebe in diesem Wellenbereich genauer zu untersuchen, um damit die für die Therapie günstige Wellenlänge zu finden. Denn durch die unterschiedliche Erwärmung von Muskel und Fettgewebe "sind der therapeutisch wichtigen Muskelerwärmung wegen der Gefahr einer Fettüberhitzung gewisse Grenzen gesetzt".⁹⁾ Zunächst führten P ä t z o l d und Mitarbeiter ¹⁰⁾ Temperaturmessungen an geschichteten Geweben durch. Sie fanden, daß der Temperaturunterschied zwischen Fett- und Muskelschicht mit der Abnahme der Wellenlänge von 10 m ab immer kleiner wird und die Tiefenwirkung der Kurzwelle mit abnehmender Wellenlänge infolge der geringen "Hautbelastung" zunimmt. In der Folge wurden in dieser Richtung weitere Untersuchungen vorgenommen, an denen sich wiederum P ä t z o l d ¹¹⁾ sowie auch O s s w a l d ¹²⁾ beteiligten und zu dem Ergebnis gelangten, daß zwischen der Erwärmung von Muskel und Knochenmark gegenüber Haut und Unterhaut zwischen 7,38 m- und 11,05-m-Wellen kein wesentlicher Unterschied bestünde. H o l l m a n n ¹³⁾ und S p i l l e r ¹⁴⁾ befaßten sich mit dem Vergleich der Wirkung von Wellen aus dem Meter-Bereich mit solchen aus dem Zentimeter-Bereich, ersterer theoretisch, letzterer durch vergleichende Temperaturmessungen. Beide fanden, daß die Dielektrizitätskonstante von Fett im Frequenzbereich der Zentimeterwellen einen niedrigeren Wert als im Bereiche längerer Wellen aufweist, somit hier keine Überhitzung der Fettsubstanzen zu befürchten sei. Nach Versuchen mit 2-Schichten-Modellen (Fett und Muskulatur) bringt P ä t z o l d ¹⁵⁾ eine Zusammenstellung der Temperaturunterschiede zwischen diesen beiden Gewebsarten bei Verwendung verschiedener Wellenlängen im Meter-Bereich:

Bei 11,1 m wird Fett 9 mal so warm wie Muskel,

"	7,5 m	7,9 "
"	6 m	7 "
"	3 m	5,7 "
"	1 m	3,6 "

Er bedauert aufgrund dieser Ergebnisse, daß nicht noch eine 6. Welle etwa nahe unter 1 m frei gegeben wurde. V o s e r und H ü b n e r ¹⁶⁾ fanden, daß mit kürzer werdender Wellenlänge die Wärmebildung infolge des spezifischen Widerstandes immer mehr hinter anderen Effekten (Verschiebestrom) zurücktritt. Nach ihren Ergebnissen ist es mög-

lich, bei Wellen unter 15 m die Tiefenwirkung durch Verkleinerung der Wellenlänge zu steigern, wobei hier die Gleichmäßigkeit der Dielektrizitätskonstanten aller Gewebe (außer Fett und Knochen) einen besonderen Vorteil darstelle. Entgegen der von K o w a r s c h i k ⁴⁾ vertretenen Ansicht spiele am lebenden Objekt die Wärmeabfuhr durch den Blutstrom nur eine untergeordnete Rolle und wirke nur "bei sehr hohen Energien etwas abkühlend und ausgleichend".

Der besseren Übersicht halber seien die Verfasser unter Angabe der verwandten Methodik und der erzielten Resultate nochmals tabellarisch zusammen gestellt, wobei die im Folgenden noch besprochenen Versuche von B ö n i und L o t m a r vorweg in dieser Tabelle Aufnahme fanden.

Tabelle I.

Name	Jahr	Methodik	Kriterium	Ergebnis
Esau ¹⁰⁾ Fätzold Ahrens	1936/ 1938	Durchflutung geschichteter Gewebe (Fett/Muskel)	Erwärmung	Mit zunehmender Frequenz erhebliche Entlastung der Fetterwärmung u. Zunahme der Tiefenwirkung infolge geringerer Hautbelastung
Fätzold ¹²⁾ Osswald	1938	" " Außenmedium Wasser	Erwärmung	Erwärmungsverhältnis Fett:Muskel bei höherer Frequenz zugunsten der Muskulatur verschoben
Schaefer ⁷⁾	1937	Durchflutung, Bestimmung d. Dielektrizitätskonstanten am Beckenphantom	Erwärmung	Absinken der Dielektrizitätskonstanten bei steigender Frequenz, Optimum bei 5-6 m
Raab ³⁾	1937	Durchflutung einzelner toter Gewebe	klin. Erfolge	Kein Unterschied zwischen 4,6,8 oder 12m
Hollmann ¹³⁾	1937	Durchflutung geschichteter biol. Objekte (Fett/Muskel)	Erwärmung auch lebender Objekte	Osswald'sche Werte am lebenden Objekt (T 37 ⁰) bestätigt
Spiller ¹⁴⁾	1938	Durchflutung Fett/Muskel u. Flüssigkeiten m. Dezimeter-W.	Erwärmung	Starke Fettentlastung bei Dezimeterwelle, Rückschlüsse vom Phantom auf lebende Substanzen bei Körpertemperatur und Reihenschaltung der Gewebe

Name	Jahr	Methodik	Kriterium	Ergebnis
Raab ⁸⁾	1939	Durchflutung einzelner tierischer Gewebeschichten	Erwärmung	Größere selektive Erwärmung bei Wellenlängen über 10 m; Absorptionskoeff. steigt mit Wellenlänge (3m, 6m, 12m)
Pätzold ¹¹⁾	1940	Durchflutung toter Gewebe (Fett/Muskel) u. Elektrolyte	Erwärmung	Höhere Temp.v.Haut u. Unterhaut gegenüber Muskel u.Mark; Verhältnis Fett:Muskel bei 1m-Wellenlänge günstiger als bei 25 cm-Wellenlänge; 7,38 m und 11,05m kaum Unterschiede
Kowarschik ²⁾ Autorenergebnisse (Gebbert, Schereschewsky, Mortimer u.a.)	1943	Durchflutung geschichteter Gewebe u. Elektrolyte	Erwärmung	Keine wesentlichen Unterschiede mit Ausnahme von Haut u.Fett, hier mit steigender Frequenz abnehmend, Blut nivelliert weitgehend
Böni u. Lotmar ¹⁷⁾	1952	Durchstrahlung v.Gewebeblöcken aus 2 Markschichten u. 1 zwischenliegenden Muskelschicht bzw.Fett-Muskel-Fett	Erwärmung	Bei 17 cm-Wellenlänge grösserer Temperaturanstieg in der tiefer liegenden Muskelschicht als im äußeren Markblock; bei 6m-Wellenlänge Temperaturabfall von außen nach innen
Pätzold ¹⁾	1953	Durchflutung toter Gewebe einzeln und in Schichtmodellen mit verschiedenen Wellenlängen	Bestimmung d.Leitfähigkeit	Kleinerwerden des Verhältnisses der Erwärmung Fett:Muskel bei kürzerer Wellenlänge
Voser u. Hübner ¹⁶⁾	1953	Durchflutung geschichteter Medien	Erwärmung	Bessere Tiefenwirkung bei Verkleinerung der Wellenlänge, Angleichung der Dielektrizitätskonstanten, Wärmeabfuhr durch Blutstrom von untergeordneter Bedeutung.

Ein neues Moment brachten B ö n i und L o t m a r ¹⁷⁾, die ihr Hauptaugenmerk nicht mehr nur auf Fettgewebe und Muskulatur richteten, sondern die vergleichende Versuche des Temperaturverlaufs auch für Gewebeblöcke aus Mark und Muskel unternahmen. Sie durchstrahlten mit "Mikrowellen", wie sie den Frequenzbereich der Zentimeter-Wellen bezeichnen, und durchfluteten mit "Ultrakurzwellen", d.h. mit der Wellenlänge von 6 m. Dabei ergaben sich für einen Gewebeblock aus zwei Markscheiden und einer Muskelgewebescheid die folgenden Bilder: ¹⁸⁾

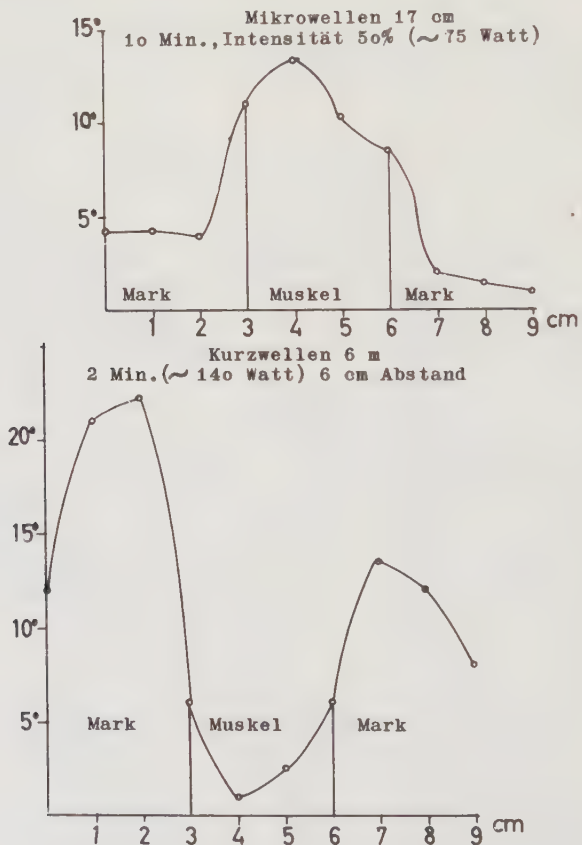


Abb. 1

Es zeigt sich dabei, daß die Mikrowellen hier in der tiefen Schicht einen deutlichen Temperaturanstieg verursachen bei verhältnismäßig geringer Wirkung in den außenliegenden Partien. Die längere Welle hingegen zeigt einen großen Temperaturanstieg in den außenliegenden Schichten bei geringerem Effekt in der Tiefe. Bei der Durchflutung eines Modells mit den Schichten Fett-Muskel-Fett fanden die Autoren nachstehenden Temperatur-Verlauf:

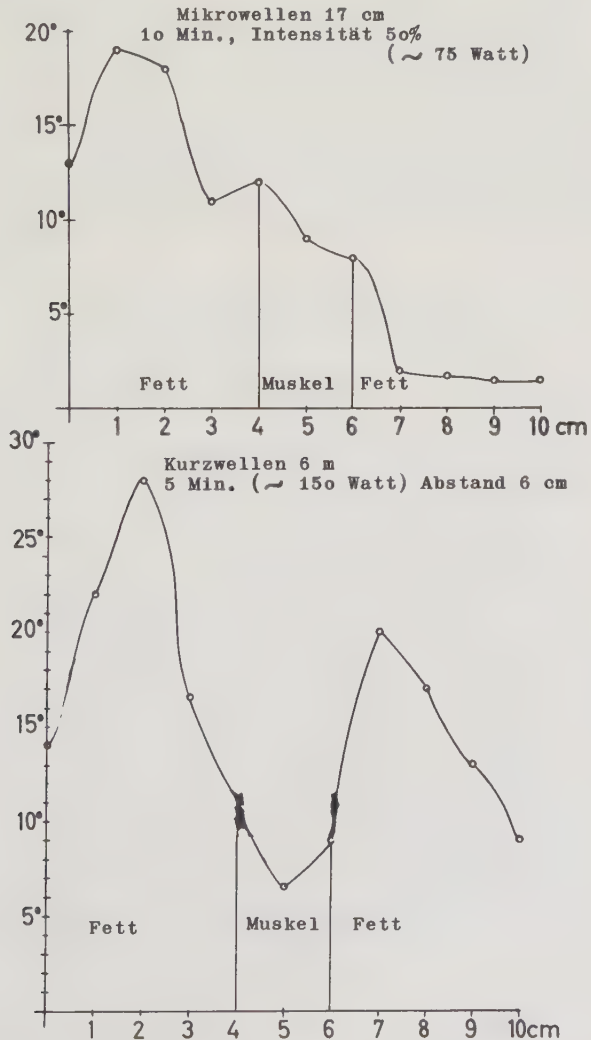


Abb. 2

Bei diesem Modell, das die Gegebenheiten am menschlichen Körper nachahmt, findet sich bei der Mikrowelle ein erheblicher Temperaturanstieg in einer Fettpartie, ein sehr viel geringerer in der gegenüberliegenden Fettschicht. Die Erwärmung der Muskulatur liegt etwa in der Mitte der beiden Werte.

Nach Durchflutung mit 6m zeigt sich in den beiden außenliegenden Fettschichten eine erhebliche Erwärmung, die der dazwischen liegenden Muskelschicht ist wesentlich geringer und im Verhältnis zur Fetterwärmung kleiner als bei der Mikrowelle.

Mit Ausnahme der Letztgenannten bezogen sich alle bisher angeführten Untersuchungen lediglich auf die Verhältnisse im Fettgewebe und der Muskulatur. Dabei waren sowohl ganz oberflächliche Schichten (Cutis) - und damit die Hautbelastung - wie auch die Wirkungsweise in ganz tief gelegenen Schichten weitgehend unberücksichtigt geblieben.

Eigene Untersuchungen

A. Zielsetzung

Die vorstehende Betrachtung zeigt, wie sich eine ganze Reihe von Autoren mit der Frage der Anwendbarkeit von Kurzwellen beschäftigt hat, besonders die Wirkung verschiedener Wellenlängen in einzelnen Gewebsschichten untersuchte und hinsichtlich der therapeutisch zu erzielenden Effekte beurteilte. Von verschiedener Seite wurde auch mit Schichtmodellen gearbeitet im Bestreben, die am lebenden Organismus herrschenden Gegebenheiten nachzuahmen.

Lücken bestanden hinsichtlich eines genauen Vergleichs der Wellenlängen von 6 - bzw. 11,05 m in ihrer Wirksamkeit in verschiedenen Schichten und Tiefen, vor allem aber auch hinsichtlich der Durchführung dieser Untersuchungen am physiologisch geschichteten Medium.

Es sollen also die Wirkungen der beiden genannten Wellenlängen in allen der Kontrolle überhaupt zugänglichen Gewebsschichten am Menschen untersucht und miteinander verglichen werden.

In ein akutes Stadium war diese Frage getreten, nachdem die Wahl der Frequenz plötzlich nicht mehr in das Belieben des Handelnden gestellt war, sondern man vielmehr aufgrund der Beschlüsse von Atlantic City gezwungen wurde, von der weit verbreiteten 6 m-Welle abzugehen und sich der Länge von 11,05 m zu bedienen. Den Versuchen lag ferner der Gedanke zugrunde, unter Bedingungen zu arbeiten, die möglichst getreu denen bei der praktischen Anwendung nachgeahmt sein sollten. Eine geringere theoretische Übersichtlichkeit als beim willkürlich angefertigten Modell sollte dabei in Kauf genommen werden. Nachdem die einzige verhältnismäßig leicht und sicher zu bestimmende Größe, die Aufschluß über die Wirkung von Kurzwellen auf verschiedene Tiefenschichten zu geben vermag und deren sich bei früheren Untersuchungen ja auch schon eine Reihe von Autoren bedienten, die durch Aufnahme von Energie und deren Umwandlung in Wärme bedingte Temperaturerhöhung sein dürfte, sollte dieser Temperaturanstieg im durchfluteten Gewebe auch bei unseren Versuchen bestimmt werden. Die so erhaltenen Werte sollten dann

kurvenmäßig festgelegt und rechnerisch ausgewertet werden, um damit als Grundlage für die anzustellenden Vergleiche zu dienen.

Nach dieser Methode wurden die im Nachstehenden geschilderten und besprochenen Versuche am Institut für Röntgenologie und physikalische Therapie der Universität München durchgeführt.

B. Methodik

Um die zweckmäßigste Art der Versuchsmethodik zu finden, wurde zunächst eine Reihe von Vorversuchen an Extremitäten getöteter Tiere vorgenommen. Schon die hier erhaltenen Ergebnisse stimmen weitgehend mit denen der eigentlichen zur Auswertung gekommenen Versuche überein.

Die Versuche wurden auf dem Prinzip aufgebaut, daß die Erwärmung einzelner Schichten eines Mediums bei Durchflutung mit 6 m - bzw. 11,05 m-Wellen bestimmt und zur Auswertung als Funktion der Zeit kurvenmäßig festgehalten wurde. Die Versuchsanordnung sei im Folgenden kurz geschildert:

Um die Eigenart des geschichteten Mediums, als welches jeder lebende Körper bzw. Körperteil im KW-Feld imponiert, möglichst genau nachzuahmen, haben wir die entsprechenden Versuche an der Leiche vorgenommen. Es wurden KW-Durchflutungen des Oberschenkels durchgeführt, weil gerade hier die klarsten und in jeder Richtung gleichmäßigsten Schichtverhältnisse anzutreffen waren. Bei gleichem Elektrodenabstand wurde der betreffende Oberschenkel nacheinander mit 6 m- bzw. 11,05 m-Wellen durchflutet. An charakteristischen Punkten in das KW-Feld verteilt, waren die Temperaturmesspunkte festgelegt. Es wurden Temperaturwerte intracutan, subcutan, intramuskulär und in der Knochenmarkshöhle des angebohrten Femur festgehalten. Bei der Messung selbst kamen Quarz-Benzol-Thermometer⁺ zur Anwendung, die aufgrund der Materialbeschaffenheit keine Störung des KW-Feldes verursachen. Das Schema der Versuchsanordnung und die Lage der Meßpunkte ist aus der Zeichnung Abb. 3 in der Draufsicht und im Querschnitt ersichtlich.

⁺ Die Quarz-Benzol-Thermometer wurden entgegenkommenderweise von den Siemens-Reiniger-Werken zur Verfügung gestellt.

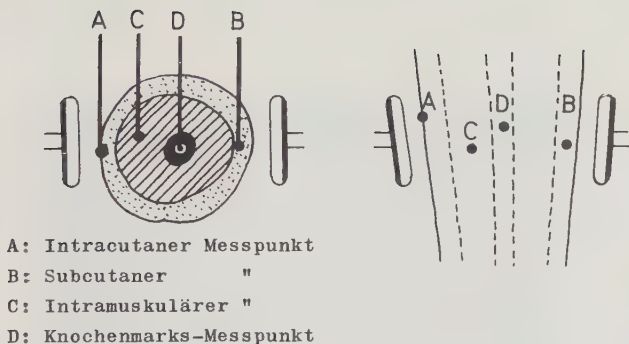


Abb. 3 Schematische Darstellung der Versuchsanordnung und der Messpunkte.

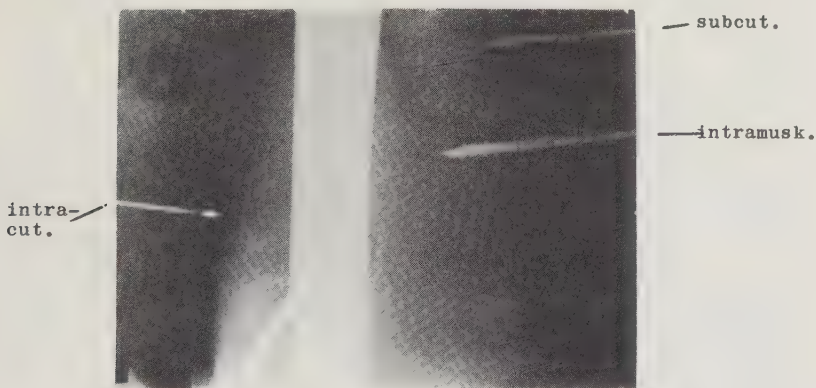
Zur Beurteilung der Leistungen der einzelnen Wellenlängen kamen die in erster Zeit nach Beginn der Durchflutung gemessenen Temperaturen zur Auswertung, da im weiteren Verlauf eine Störung der Temperaturkurven durch Wärmeabgabe von Schicht zu Schicht bzw. Wärmeabstrahlung in den Raum zu große Werte angenommen hätte. Somit wäre kein klares Maß mehr für die tatsächlich in der betreffenden Schicht in Wärme umgesetzte Energie aus den abgelesenen Temperaturen vorhanden gewesen. Es wurde ferner bewußt auf die Berücksichtigung der Verhältnisse am lebenden Organismus verzichtet. Die von M o r t i m e r ²⁰⁾ erwähnte Differenz in der Erwärmung der einzelnen Organe an lebenden, narkotisierten Hunden im Gegensatz zu den am toten Hund gefundenen Werten läßt sich durch den nivellierenden Einfluß des Blut- und Lymphstromes mit seinem ständigen Wärmeabtransport ausreichend erklären. Gerade deshalb schien es möglich, nach Fortfall dieser nivellierenden Faktoren ein ziemlich genaues Maß für die bei den verschiedenen Wellenlängen in den einzelnen Gewebsschichten in Temperatur umgesetzte Energie zu haben.

Andererseits war es unerlässlich, den Temperaturverlauf in den entsprechenden Schichten vor Beginn der Durchflutung festzuhalten und zu berücksichtigen. Während beim Lebenden diese Ausgangstemperatur als konstant angenommen werden kann, zeigte sich nämlich, daß bei der Verbringung der Leiche in einen anderen Raum mit anderer Temperatur hier nicht unerhebliche Temperaturdifferenzen im Gewebe auftreten können, die sich erst im Laufe von Stunden völlig ausgleichen und dadurch die Ausgangstemperatur wieder auf einen konstanten Wert kommen lassen. Es war aber technisch nicht durchführbar, jedem Versuch eine vielstündige "Temperierungsphase" vorausgehen zu lassen. Da jedoch diese Verhältnisse bei der endgültigen rechnerischen Auswertung nicht unberücksichtigt bleiben dürfen, wurden auch sie festgehalten und entsprechend verwertet. Die Gesamtversuchsanordnung ist aus der Abbildung 4 ersichtlich.



Abb. 4
Gesamtversuchsanordnung

Die Lage der Thermometer im zu durchflutenden Oberschenkel wird aus dem Röntgenbild der Abb. 5 klar, bei dem die Thermometer zur Sichtbarmachung auf dem Röntgenfilm durch Troikare markiert wurden.



Knochenmark Abb. 5

Lage der Thermometer im durchfluteten Oberschenkel

Während jeder Durchflutung wurden selbstverständlich unveränderte Versuchsbedingungen beibehalten (gleichbleibender Elektrodenabstand, gleiche Heizspannung).

Es soll hier ferner darauf hingewiesen werden, daß im Laufe einer weiteren Versuchsreihe am Wasserphantom mit Hilfe des von den Siemens-Werken zur Verfügung gestellten Dosimeters eine Möglichkeit zur Dosismessung bei KW-Durchflutungen geschaffen wurde. Eine genaue dosimetrische Erfassung der hier geschilderten Versuche war jedoch infolge der bei Änderung der Wellenlänge auftretenden Veränderungen im Kondensatorfeld, insbesondere der Änderung der Dämpfung, noch nicht möglich.

Wie angegeben, wurden die in gleichmäßigen Zeitabständen vor und während der Durchflutung in den einzelnen Gewebsschichten gemessenen Temperaturen zunächst kurvenmäßig festgehalten. Die in Frage kommenden Kurventeile zeigt Abb. 6.

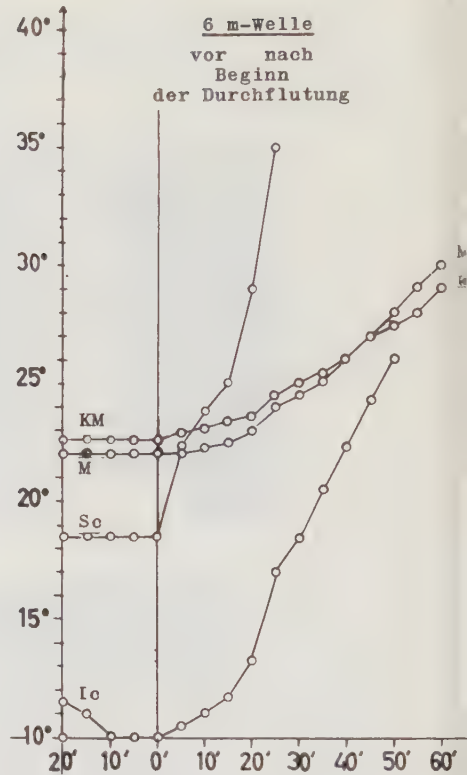
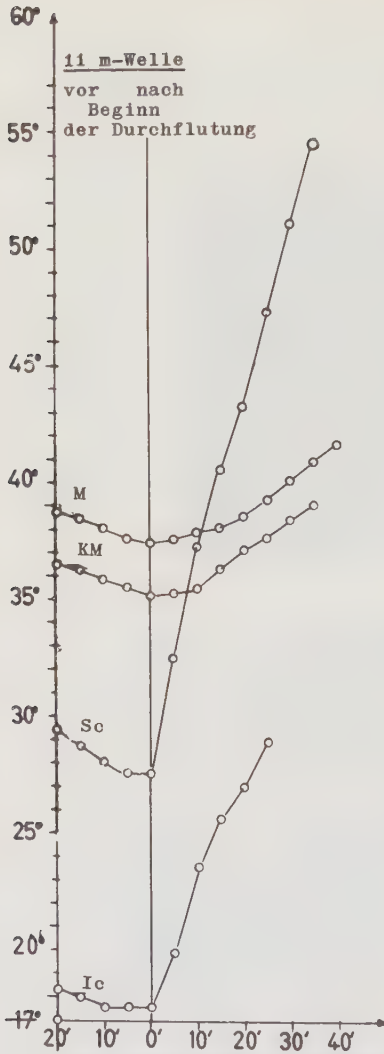


Abb. 6

Darstellung der Temperaturkurven
in den einzelnen Schichten bei
Durchflutung mit 6 m - bzw. 11,05m-
Welle. (Ic = intracutan,
Sc = subcutan
M = Muskulatur,
KM = Knochenmark)

Die rechnerische Auswertung geschah nach folgenden Gesichtspunkten:

Die in Abb. 6 dargestellten Temperaturkurven zeigen zunächst, besonders in den oberflächlichen Schichten (Cutis, Subcutis)

einen sofort einsetzenden, steilen Temperaturanstieg. Im weiteren Verlauf fand sich dann stets eine langsamere Temperatursteigerung als Ausdruck der Wärmeabgabe an angrenzende Schichten und in den Raum, und somit ein Flacherwerden der bezeichneten Kurven. Daß und weshalb diese letzteren Kurvenabschnitte keine Berücksichtigung mehr finden konnten, wurde zuvor dargelegt.

In den tieferen Schichten (Muskulatur, Knochenmark) beginnt der Temperaturanstieg etwas langsamer, erreicht dann ein gleichbleibendes Maximum, um im weiteren Verlauf ebenfalls wieder ein flacher werdendes Kurvenbild zu zeigen. Auch hier fand dieser letztere Abschnitt der jeweiligen Kurve in der Auswertung keine Berücksichtigung mehr.

Der Gesamtverlauf der Kurven zeigt, daß der Temperaturanstieg in jeder einzelnen Schicht im Idealfall anfangs entsprechend einer Exponentialkurve verlaufen würde, etwa nach der Form in

Abb. 7

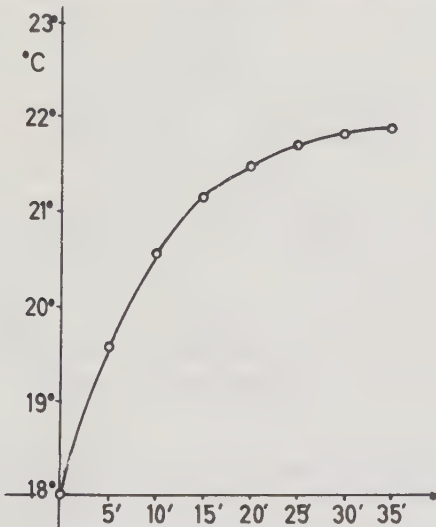


Abb. 7 Exponentialkurve mit idealem Verlauf

Demnach konnte zur Auswertung der durch den Temperaturanstieg gegebenen Kurventeile nach mathematisch-physikalischen Methoden

folgender Ansatz in Anwendung gebracht werden.

$$y = y_0 + c_1 (1 - e^{-c_2 t}) \quad (1)$$

In dieser Gleichung (1) wurde y für die Temperatur, t für die Zeit eingesetzt. Dieser Ansatz enthält 2 zu bestimmende Konstanten:

$$c_1, c_2.$$

Die Temperaturänderung pro Zeit $\dot{y}$ ergibt sich durch Differentiation der Gleichung (1) zu

$$\dot{y} = c_1 c_2 e^{-c_2 t} \quad (2)$$

Für den Fall, daß vor der Durchflutung im zu untersuchenden Gewebe konstante Temperatur herrschte, kann als Maß für die in Wärme umgesetzte Energie der nach diesem Ansatz errechnete Wert von $c_1 c_2$ gelten. Einige der unter Abb. 6 beigefügten Temperaturkurven zeigen jedoch vor dem Einsetzen der Durchflutung, also vor dem Zeitpunkt $t = 0$, in den einzelnen Schichten einen deutlichen Temperaturabfall. Dies ist das Zeichen für eine Wärmeabgabe nach außen, d.h. in der betreffenden Schicht herrschen noch keine konstanten Temperatur-Verhältnisse. Die Berücksichtigung dieser Gegebenheit geschah folgendermaßen: die in gleichen zeitlichen Abständen vor dem Zeitpunkt $t = 0$ gefundenen Temperaturdifferenzen wurden arithmetisch gemittelt, somit der durchschnittliche Temperaturabfall pro Zeiteinheit vor Beginn der Durchflutung bestimmt und eine Annäherung der Temperaturkurven an $t = 0$ von zwei Seiten erreicht. Die so erhaltenen Werte wurden zu den nach dem angegebenen Ansatz erhaltenen Grössen für den Temperaturanstieg addiert und damit ein endgültiger Überblick über die tatsächlichen Verhältnisse gewonnen.

Die berichtigte Temperaturänderung pro Zeit im Zeitpunkt $t = 0$ ist ein ungestörtes Maß für die Temperaturänderung pro Zeit, diese ist wiederum proportional der Energieaufnahme pro Zeit.

In Formel (2) $t = 0$ gesetzt, ergibt

$$\dot{y} = c_1 c_2 = \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

In dieser Gleichung (3) bedeutet $\operatorname{tg} \varphi$ die aus den zeichnerisch festgehaltenen Temperaturkurven rechnerisch ermittelte Anfangsteilheit der jeweiligen Kurve im Zeitpunkt $t = 0$.

Die Auswertung der in Frage kommenden Kurventeile aufgrund obiger Beziehungen erfolgte mittels Differenzenschemas. Ein Muster der rechnerischen Durchführung für eine der Kurven ist im Folgenden dargestellt (6m, Knochenmark):

t n Min.	y _i	Δ _i =y _{i+1} -y _i	log Δ _i	δ _i =logΔ _{i+1} -logΔ _i	c ₂ [*] $\left(\frac{t(1+1)^{-t_1}}{2}\right)$	logΔ _i +c ₂ [*] $\frac{\Delta_t}{2}$
0	18,5					
0,5		3,8	0,57978		-0,02605	+0,55373
1	22,3			-0,40369		
1,5		1,5	0,17609		-0,07815	+0,09794
2	23,8			-0,08691		
2,5		1,2	0,07918		-0,13025	-0,05107
3	25,0			+0,52288		
3,5		4,0	0,60206		-0,18235	+0,41971
4	29,0			+0,17609		
4,5		6,0	0,77815		-0,23445	+0,54370
5	35,0					

$$\begin{aligned} \sum \delta_i &= +0,20837 \\ \delta_i \text{ Mittel} &= -c_2^* = +0,05209 \\ &\leq +1,56401 \\ &\text{Mittel} \\ &= +0,31281 \\ &= \log c_1 c_2 \end{aligned}$$

$$\text{somit } c_1 c_2 = 2,055 = \operatorname{tg} \varphi$$

Zeichenerklärung:

$$\Delta_1 = y_{i+1} - y_i$$

$$c_2^* = \frac{c_2}{2,3}$$

$$\delta_i = \log \Delta_{i+1} - \log \Delta_i$$

$$c_1 = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{c_2}$$

$$\Delta_t = t_{i+1} - t_i$$

$$c_2 = c_2^* \cdot 2,3 = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{c_1}$$

Nach diesem Schema wurden sämtliche Kurven rechnerisch ausgewertet und somit der Temperaturanstieg der jeweiligen Kurve im Zeitpunkt $t = 0$ als $\operatorname{tg} \varphi$ bestimmt.

Ergebnisse

Im folgenden ist zunächst die Anfangssteilheit ($= \tan \varphi$) der einzelnen Kurven aus einander entsprechenden Schichten bei verschiedenen Wellenlängen zusammengestellt:

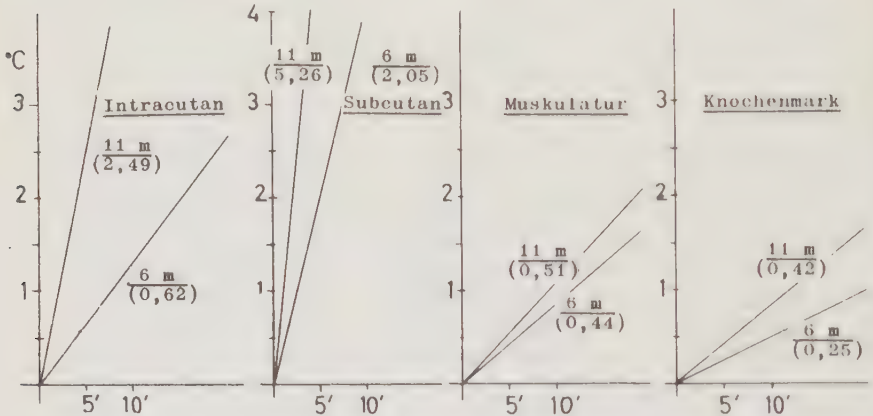


Abb. 8

Diese Darstellungen zeigen eine erhebliche Differenz bei den intracutanen Messungen, eine ebensolche in der Subcutis, während die Werte in der Muskulatur und im Knochenmark nur relativ geringfügig voneinander abweichen. In allen Schichten ist jedoch der Tangens, d.h. der Temperaturanstieg pro Zeiteinheit, der bei der 11,05 m-Welle erhaltenen Kurven grösser, als dies bei der 6 m-Welle der Fall ist.

Die Bilder dürfen aber nicht zu voreiligen Schlüssen verleiten. Wie oben erwähnt, war eine genaue dosimetrische Kontrolle der durchgeführten Versuche mit dem Siemens-Dosimeter noch nicht möglich. Nur wenn dies der Fall gewesen wäre und somit bei beiden Wellenlängen zuverlässig die gleiche KW-Dosis = Energie hätte zugeführt werden können, dürfte man die bei den verschiedenen Wellenlängen in gleicher Schicht erhaltenen Werte in direkte Beziehung zueinander setzen.

Da aber diese Voraussetzung nicht erfüllt war, muß zur endgültigen Beurteilung ein anderer Weg beschritten werden. Wir müssen die bei einer Wellenlänge erhaltenen Werte der einzelnen Schichten und ihr Verhältnis zueinander untersuchen, um einen tatsächlichen Überblick über die Wirksamkeit der verschiedenen Wellenlängen in den verschiedenen Tiefen zu erhalten. Diese Gegenüberstellung sei im folgenden auf zweierlei Weise vorgenommen. Zunächst werden die Tangenten der Anstiegswinkel im Zeitpunkt $t = 0$ für die beiden Wellenlängen nebeneinander gebracht.

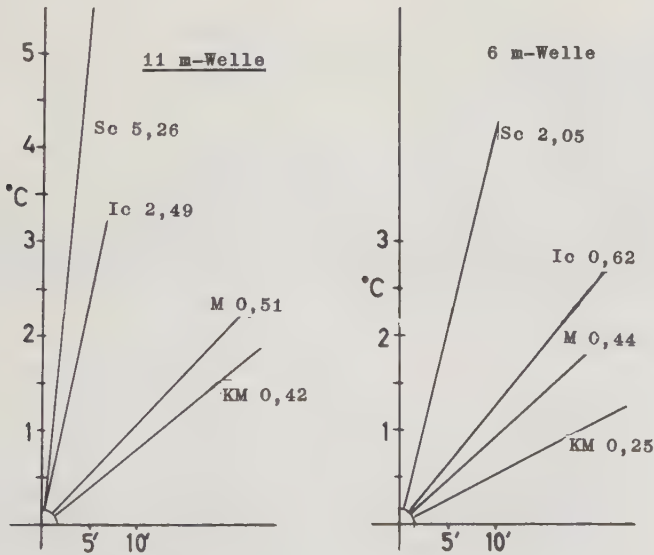


Abb. 9

Als nächstes die gleichen Tangenswerte im Balkendiagramm dargestellt, welches einen eindrucksvollen Überblick über die in den einzelnen Schichten abgegebene Energie der beiden Wellenlängen vermittelt.

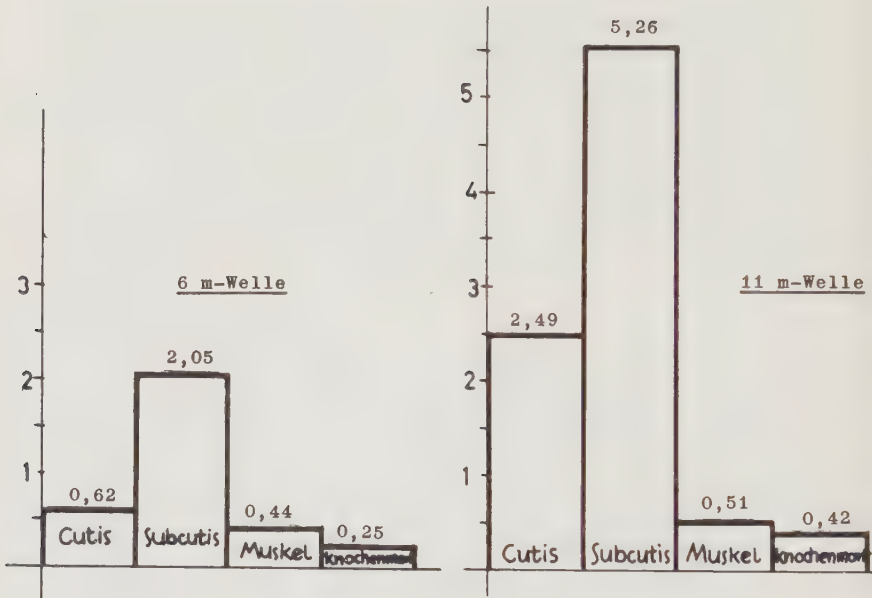


Abb. 10

In Übereinstimmung mit den oben dargestellten Temperaturkurven, jedoch wesentlich klarer und einprägsamer, zeigen diese Darstellungen die Wirkung der verschiedenen Wellenlängen in den einzelnen Schichten. Bei beiden Wellenlängen findet sich die absolut größte Belastung in der Subcutis und in der Haut selbst. Doch zeigt sich, daß diese Belastung der oberflächlichen Schichten, besonders der Cutis, bei der 11,05 m-Welle eine relativ weitaus grössere ist, als sie bei der 6m-Welle zu finden war. Diese grosse Belastung der Haut bei der 11,05 m-Welle erscheint besonders deshalb bedeutsam, weil hier die Wärmeempfindlichkeit besonders stark ausgeprägt ist und eine zu starke Belastung oberflächlicher Schichten durch die

zu erwartenden subjektiven Beschwerden des Patienten einer höheren Dosierung eine Grenze setzt. Wir sehen gegenüber der relativ sehr viel grösseren Belastung von Cutis und Subcutis bei der längeren Welle einen verhältnismäßig sehr viel kleineren Effekt in den tiefer liegenden Schichten. Im Gegensatz hierzu sind die für die 6m-Welle ermittelten Grössen wesentlich ausgeglichener.

Um die in den einzelnen Schichten erhaltenen Werte zu veranschaulichen, wurden sie bisher als Winkel bzw. im Balkendiagramm dargestellt. Nun soll auch ein zahlenmäßiger Vergleich hierüber angestellt werden.

Bei jeder Kurzwellen-Durchflutung, die tiefer liegende Schichten mit erfassen soll, stehen einander doch zwei Grössen gegenüber, auf der einen Seite die "Belastbarkeit" der Gewebe, besonders die oberflächlicher Schichten (in erster Linie durch Temperatur-Erhöhung), auf der anderen Seite aber die ausreichende Erwärmung (= Energieabgabe) in der Tiefe. Wichtig ist, daß diese Tiefenwirkung erreicht wird ohne Überbelastung der darüberliegenden Schichten, einmal wegen der damit verbundenen subjektiven Beschwerden, zum anderen, weil darüber hinaus gerade im Fettgewebe infolge schlechter Durchblutungsverhältnisse und somit geringeren Abtransports von Wärme evtl. sogar Gewebsschädigungen verursacht werden könnten.

Um die beiden Wellenlängen hinsichtlich ihrer Wirkungen in den einzelnen Schichten zu untersuchen und klar zu stellen, erscheint folgender Weg am zweckmässigsten: Es wird jeweils bei beiden Wellenlängen ein für den Temperaturanstieg pro Zeiteinheit in einer der Schichten erhaltener Wert gleich "1" gesetzt und die sich bei entsprechender Umrechnung für die übrigen Schichten ergebenden Verhältniszahlen verglichen.

Setzen wir nun nacheinander die für Cutis, Subcutis und Muskulatur erhaltenen Tangenswerte = 1, so ergeben sich für die übrigen Schichten die Verhältniszahlen nachstehender Tabellen:

II, III, IV.

	<u>6 m</u>	<u>Cutis = 1</u>	<u>11,05 m</u>	Tab. II
Cutis	1		1	
Subcutis	3,30		2,11	
Muskulatur	0,71		0,20	
Knochenmark	0,40		0,17	

<u>Subcutis = 1</u>			Tab. III
	<u>6 m</u>	<u>11,05 m</u>	
Cutis	0,29	0,47	
Subcutis	1	1	
Muskulatur	0,21	0,1	
Knochenmark	0,12	0,08	

Muskulatur = 1

	<u>6 m</u>	<u>11,05 m</u>	Tab. IV
Cutis	1,40	4,88	
Subcutis	4,66	10,31	
Muskulatur	1	1	
Knochenmark	0,57	0,82	

In Tabelle II zeigt sich, daß die Erwärmung der Subcutis bei 6m im Verhältnis etwas höher liegt als bei 11,05m, daß aber in den tiefer folgenden Schichten der Effekt der 6m-Welle größer ist als bei der längeren Welle.

Die Tabelle III zeigt gegenüber der Subcutis eine deutlich größere Hautbelastung durch die 11,05m-Welle. Gegen die Tiefe zu findet sich auch hier ein schnelleres Nachlassen der Wirkung als bei 6m, welcher Unterschied sich, wie auch in Tabelle II, in der Muskulatur besonders abzeichnet.

Die Tabellen II u. III geben Aufschluß über die Frage, was bei gegebener Oberflächenbelastung an Kurzwellen-Energie bei den beiden untersuchten Wellenlängen in tieferen Schichten noch zur Wirkung kommt.

L o t m a r und K a u f m a n n wiesen 1952 auf die Bedeutung der unterschiedlichen Erwärmung von Fett und Muskulatur hin, die vor allem darin liege, daß der therapeutisch wichtigen Muskelerwärmung wegen der Gefahr einer möglichen Fettüberhitzung Grenzen gesetzt seien.¹⁹⁾ Es muß deshalb interessieren, wie sich die Verhältnisse der Wirkungen in den übrigen Schichten gestalten, wenn wir den Effekt in der Muskulatur, der ja tatsächlich in der Praxis die wichtigste Rolle spielt, als gegeben annehmen. Die Tabelle IV gibt hierüber Aufschluß.

Besonders diese Gegenüberstellung zeigt eindrucksvoll wie viel mehr die oberflächlichen Schichten der Haut und Unterhaut bei 11,05m belastet werden müssen, um in der Muskulatur einen Effekt zu erzielen, der dem entspricht, welcher bei kürzerer Wellenlänge mit viel geringerer oberflächlicher Belastung zu erreichen ist. Wenn sich hier bei 6m und 11,05m für die Haut Zahlen wie 1,40 und 4,88 gegenüber stehen, so besagt das, daß bei der letzteren Wellenlänge dem Versuch, mit einer größeren KW-Dosis bis in die Muskulatur vorzudringen, durch die Hautbelastung und die eben hiermit verknüpften subjektiven Beschwerden viel eher Halt geboten wird, als bei der bisher üblichen Welle. Wenn sich bei dem gleichen Versuch in der Subcutis Zahlen wie 4,66 für 6m und 10,31 für 11,05m finden, so zeigt sich hier, daß die gerade in dieser Schicht mögliche Fettüberhitzung sich bei letzterer Wellenlänge sehr viel früher zeigen wird.

Es wurde zuvor dargelegt, weshalb ein direkter Vergleich der erhaltenen Werte für den Temperaturanstieg pro Zeiteinheit ($= \text{tg } \varphi$) nicht erfolgen kann, sondern daß vielmehr das Verhältnis der Wirkungen der verschiedenen Wellenlängen in den einzelnen Schichten untersucht werden muß. Werden nun die bei gleicher Wellenlänge für die einzelnen Schichten erhaltenen Werte zahlenmäßig miteinander verglichen, so finden sich folgende Verhältnisse:

	<u>6 m</u>	<u>11,05 m</u>	
Ic/Sc	0,30	0,47	Tab. V
Ic/M	1,40	4,88	
Ic/KM	2,46	5,95	
Sc/M	4,66	10,31	
Sc/KM	8,18	12,57	
M/KM	1,76	1,22	

Bei der für diese Tabelle zugrunde gelegten Berechnung haben wir Zahlen verwertet, die sich ergeben, wenn die in der Muskulatur erzielten Wirkungen bei beiden Wellenlängen = 1 gesetzt wird.

Auch hier bietet sich uns das gleich aufschlußreiche Bild. Bei der 6m-Welle finden wir für das Verhältnis der Wirkung in der Cutis zu der in der Subcutis einen Wert von 0,30, bei 11,05m hingegen einen solchen von 0,47. Das besagt, daß zwar die relative Belastung der Subcutis bei der 6m-Welle etwas höher ist, aber bei

1) Ic = intracutan; Sc = subcutan; M= Muskulatur; KM= Knochenmark

der 11,05m-Welle die Haut selbst erheblich stärker belastet wird. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß dies wegen der Lokalisation der Temperaturempfindung besonders bemerkenswert ist. Sowie wir aber weiter in die Tiefe kommen, fällt die Leistung der 11,05m-Welle wesentlich schneller ab: Das Verhältnis I_c/M ¹⁾ ist bei 11,05m auf 4,88 zu 1,00 = 4,88 abgesunken, während es bei 6m noch 1,40 zu 1,00 = 1,40 beträgt. Für das Knochenmark läßt sich das Gleiche beobachten.

Vergleichen wir die tiefer gelegenen Schichten miteinander, so finden wir: bei 6m ist das Verhältnis Sc zu M noch 4,66 zu 1,00 = 4,66, bei 11,05m jedoch nurmehr 10,31 zu 1,00 = 10,31.

Wir sahen auf den graphischen Darstellungen, daß die Leistung der 6m-Welle in den einzelnen Schichten deutlich ausgeglichener ist als bei 11,05m. Machen wir hierzu die rechnerische Probe, indem wir die am stärksten belastete Schicht beider Wellenlängen, nämlich die Subcutis, mit der Schicht des geringsten Temperaturanstiegs, in beiden Fällen dem Knochenmark, in Beziehung zu einander setzen. Bei der 6m-Welle finden wir hier ein Verhältnis von 4,66 zu 0,57 = 8,18, bei 11,05m jedoch nurmehr ein solches von 10,31 zu 0,82 = 12,57. Dies ist umso bemerkenswerter, als die 6m-Welle eine relativ größere Belastung der Subcutis zeigt (wobei die absolute Belastung dieser oberflächlichen Schicht in unseren Beispielen aber immer noch geringer ist als bei 11,05m), - was zu einer Entlastung der Haut führt - und andererseits dennoch in der Schicht ihres kleinsten Effektes einen relativ wesentlich höheren Wert liefert.

Eine weitere Überlegung führt dazu, die Verhältniszahlen der einzelnen Schichten im Verhältnis zur Wellenlänge zu betrachten.

Damit erhalten wir die nachstehende Tabelle VI.

	<u>11/6 m</u>	
1) I_c/Sc ¹⁾	1,57	Tab.VI
2) I_c/M	3,47	
3) I_c/KM	2,39	
4) Sc/M	2,22	
5) Sc/KM	1,53	
6) M/KM	0,69	

1) I_c = intracutan; Sc = subcutan; M = Muskulatur; KM = Knochenmark

Diese Tabelle besagt, daß die Wirkung

1)	bei 11 m	in Ic	das 1,57 fache	der in Sc	ist wie bei 6 m
2)	" 11 m "	Ic	das 3,47 "	" " M "	" " " 6 m
3)	" 11 m "	Ic	das 2,39 "	" " KM "	" " " 6 m
4)	" 11 m "	Sc	das 2,22 "	" " M "	" " " 6 m
5)	" 11 m "	Sc	das 1,53 "	" " KM "	" " " 6 m
6)	" 11 m "	M	das 0,69 "	" " KM "	" " " 6 m

Diese Werte kommen folgendermaßen zustande: Die bezeichneten Schichten miteinander verglichen ergaben je eine Verhältniszahl für jede Wellenlänge (siehe Tab.V); diese Verhältniszahlen wiederum wurden in das Verhältnis 11,05m/6m gebracht. Es kann hierbei ebenfalls die stärkere Oberflächenbelastung durch die 11,05m-Welle nachgewiesen werden, desgleichen gegen die Tiefe zu ein stärkerer Leistungsabfall, als es bei der 6m-Welle beobachtet werden konnte. Diese letztere zeigt neben dem geringeren Leistungsabfall in der Tiefe zugleich eine ausgeglichenerere Energieabgabe.

Eigens soll darauf hingewiesen werden, daß die vorstehenden Ergebnisse nicht etwa aufgrund der Beobachtungen an einem einzelnen Versuch zustande kamen. Vielmehr zeigten 5 entsprechende Versuche an der Leiche stets die gleichen Verhältnisse. Auch die zur Ermittlung der besten Versuchsanordnung angestellten Vorversuche an der Leiche und an Extremitäten getöteter Tiere, die in ihrem Temperaturverlauf in gleicher Weise verfolgt wurden, stimmen in ihren Auswertungen hiermit weitgehend überein.

Besonders zu begrüßen wäre es, wenn bei exakter dosimetrischer Erfassung ähnlicher Versuche die erhaltenen Werte der einzelnen Wellenlängen in direkte Beziehung zueinander gebracht werden könnten. Diese Möglichkeit erscheint bei nochmaliger Überprüfung und nach Durchführung einiger geeigneter Versuchsreihen, die nach den bisherigen Erfahrungen im wesentlichen der empirischen Eichung zu dienen hätten, durch Verwendung des Siemens-Dosimeters gegeben. Hierdurch würde gleichzeitig noch eine genauere dosimetrische Überwachung der KW-Applikation in Therapie und Diagnostik ermöglicht.

Diskussion

Die jetzt dargelegten Ergebnisse sollen nun im Vergleich zu denen anderer Autoren besprochen werden.

Der von R a a b einmal vertretenen Ansicht, daß es praktisch unbedeutend sei, ob mit Wellenlängen von 4,6,8 oder 12 m durchflutet wird, muß aufgrund unserer Erfahrungen widersprochen werden. Das gleiche gilt für Berichte, nach denen Wellenlängen von 7,38 und 11,05m wohl höhere Temperaturen in Haut und Fett verursachten, in ihrer Wirkung in Muskulatur und Knochenmark aber keinen wesentlichen Unterschied zeigten. Wenn der Bau von Apparaten mit verstellbaren Wellenlängen abgelehnt wurde mit der Begründung, es gäbe keine spezifisch-therapeutisch wirksame Wellenlänge, so ist dieser Ansicht hinsichtlich der therapeutischen Spezifität, d.h. der spezifischen Anwendung bestimmter Wellenlängen bei bestimmten Erkrankungen oder für bestimmte Organe, zuzustimmen. Doch konnte gezeigt werden, daß sich die Bedingungen für die therapeutische Beeinflussung der Muskulatur bei der 6m-Welle wesentlich günstiger gestalteten als bei 11,05m. Wenn man also in dieser modifizierten Form von einer "therapeutischen Spezifität" sprechen will, so wäre sie jedenfalls eher bei der 6m-Welle zu suchen als bei 11,05m.

Eine Eigenart unserer Versuchsanordnung bedarf besonderer Besprechung. Wie bei der Schilderung derselben gesagt, haben wir zur klaren Erfassung der Verhältnisse in den einzelnen Schichten bewußt auf Gegebenheiten beim Lebenden verzichtet.

Natürlich besteht hier nun ein Unterschied zwischen der Haut und Unterhaut der Leiche und dem durchbluteten Gewebe beim Lebenden. Zweifellos wird ein Teil der Wärme, die von uns besonders in den oberflächlichen Schichten bei der 11,05m-Welle an der Leiche gefunden wurde, durch den Regulationsmechanismus der stärkeren Durchblutung abtransportiert und ausgeglichen. Hierauf wurde ja von P ä t z o l d schon hingewiesen mit der Behauptung, etwa auftretende Unterschiede in den einzelnen Schichten würden hierdurch völlig nivelliert. Dennoch differieren die von uns gefundenen Werte für die 6- bzw. 11,05m-Welle wohl zu sehr, um die größere Belastung oberflächlicher Schichten bei letzterer Wellenlänge etwa durch vermehrte Durchblutung gänzlich ausgleichen zu können. Somit wird das subjektive Empfinden des Patienten einer

höheren KW-Dosierung immer Einhalt gebieten, die bei dem nachgewiesenen stärkeren Leistungsabfall der längeren Welle zur Erzielung eines entsprechenden Effektes etwa in der Muskulatur erforderlich wäre.

Im Gegensatz zu P ä t z o l d messen V o s e r und H ü b n e r dem Temperatur-Ausgleich aufgrund der Durchblutung nur sehr geringe Bedeutung bei. Sicherlich spielt Blut und Lymphstrom im Gewebe hier eine Rolle, besonders infolge der während der Durchflutung einsetzenden Hyperämisierung. Prinzipiell wäre aber hierzu zu sagen, daß sich an dieser sekundär zustandekommenden Hyperämie der Gefäßapparat aller durchfluteten Schichten so gleichmäßig beteiligt, wie dies aufgrund der anatomischen Gegebenheiten möglich ist. Damit wird aber an den Relationen der primär durch die KW-Energie in den einzelnen Schichten zustandekommenden Erwärmung nichts verändert.

Die von R a a b 1939 mitgeteilte Erfahrung einer größeren selektiven Erwärmung einzelner Schichten bei Wellenlängen über 10 m und Angleichung der Temperaturen bei kürzeren Wellenlängen erfährt durch unsere Beobachtungen eine Bestätigung. Die selektive Erwärmung besonders oberflächlicher Schichten war nach unseren Ergebnissen bei der 11,05m-Welle deutlicher ausgeprägt als bei 6m.

Dasselbe gilt für die Erfahrung P ä t z o l d 's, derzufolge die Temperaturdifferenz in einzelnen Gewebsschichten bei Wellenlängen unter 10 m geringer ist als bei längeren Wellen. Auch sein Resultat, demzufolge bei Wellenlängen unter 10 m eine bessere Tiefenwirkung bei geringerer Hautbelastung zu finden ist und sich das Verhältnis der Erwärmung von Fett zu Muskulatur günstiger gestaltet, deckt sich mit unseren Erfahrungen.

Die Ergebnisse von B ö n i und L o t m a r, die am 3-Schichten-Modell die Wirkungen von Wellen mit einer Länge von 17 cm und 6m studierten, können wir nur im Prinzip beurteilen. Wenn die genannten Autoren einen größeren Temperaturanstieg in der Tiefe bei 17cm als bei 6m fanden, so deckt sich dies mit der von uns gemachten Erfahrung, derzufolge die kürzere Wellenlänge einen geringeren Leistungsabfall und somit bessere Wirkung in den Tiefenschichten zeigt, als bei Durchflutung mit größerer Wellenlänge zu finden war.

Das grundsätzlich Neue an den von uns durchgeführten Untersuchungen war, daß hinsichtlich der Schichtverhältnisse die Gegebenheiten bei der praktischen Anwendung beim Patienten möglichst genau nachgeahmt und alle im Rahmen der Versuchsanordnung überhaupt zugänglichen Schichten kontrolliert wurden. Einer der wesentlichen Unterschiede unserer Anordnung gegenüber Geweben, die aus dem natürlichen Verband herausgelöst wurden bzw. dem willkürlich angefertigten Schichtmodell, besteht in der andersartigen Verteilung des zwischen den Elektroden zustande kommenden und das Medium erfassenden elektrischen Kraftlinienfeldes. Während man im ersten Fall einen zwar einfach gehaltenen, aber den Bedingungen in der Praxis nicht entsprechenden Verlauf der Kraftlinien annehmen kann (wodurch sicherlich eine größere theoretische Übersichtlichkeit erreicht wurde), existierten bei unseren Versuchen Feldverhältnisse, die den wirklichen Gegebenheiten mit großer Sicherheit entsprechen. (siehe Abb. 11)

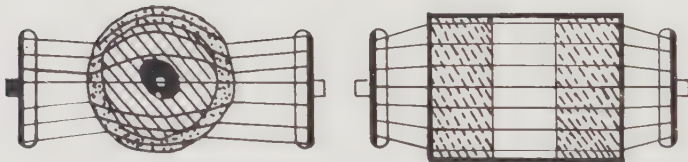


Abb. 11 Kraftfelder am Modell bzw. an der durchfluteten Extremität.

Hierauf ist wohl auch die Differenz unserer Ergebnisse gegenüber denen in den von R a a b und P ä t z o l d mitgeteilten Tabellen zurückzuführen.

Wenn wir die Zahlen dieser Autoren mit den von uns für die entsprechenden Wellenlängen und Gewebsarten erhaltenen Werten vergleichen, bietet sich folgende Gegenüberstellung:

<u>R a a b</u>		<u>P ä t z o l d</u>		<u>Unser Ergebnis</u>		Tab.VII
Fett/Muskulatur		Fett/Muskulatur		Fett/Muskulatur		
12 m	15,13/1	11,1 m	9/1	11,05 m	10,3/1	
6 m	12,26/1	6 m	7/1	6 m	4,7/1	

Die Differenz der Verhältniszahlen ist wohl mit Sicherheit auf die Gegebenheiten in den durchfluteten Medien zurückzuführen. In einer Extremität, deren einzelne Schichten unverletzt sind und auch untereinander im physiologischen Verband stehen, herrschen hinsichtlich der Absorption von KW-Energie in verschiedener Tiefe offenbar doch andere Bedingungen als an der einzeln durchfluteten Gewebsart oder am 2-Schichten-Modell. Für diese Absorption von Energie und somit die Erwärmung sind spezifischer Widerstand, Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit des Objekts ausschlaggebend. Der spezifische Widerstand hängt von der Wellenlänge ab und sinkt mit steigender Frequenz. Die Dielektrizitätskonstante steht in direktem Verhältnis zur Polarisation des Mediums und wird gleichfalls mit steigender Frequenz kleiner. Je größer die Dielektrizitätskonstante einer Gewebsart ist, umso schlechter ist die Leitfähigkeit, umso höher der Temperatur-Anstieg in der betreffenden Schicht.

Alle diese Größen sind nun für eine bestimmte Gewebsschicht weitgehend "materialkonstant". Offensichtlich dürfen aber die an der Einzelschicht gemachten Erfahrungen nicht ohne weiteres auf physiologisch geschichtete Medien bzw. auf die Verhältnisse in vivo übertragen werden, wie die Gegenüberstellung der verschiedenen Ergebnisse zeigt.

Die praktische Bedeutung unserer Versuche besteht demnach darin, daß unter Gegebenheiten, die denen der KW-Anwendung in Therapie und Diagnostik weitestgehend angeglichen waren, in allen zugänglichen Gewebsschichten gleichzeitig die Wirkung von Durchflutungen mit verschiedenen Wellenlängen untersucht wurde. Hierbei fand sich, daß, um einen entsprechenden KW-Effekt in tieferen Schichten, etwa der therapeutisch besonders interessierenden Muskulatur, hervorzubringen, bei einer Wellenlänge von 11,05m eine wesentlich höhere KW-Dosis appliziert werden muß, als dies bei der üblichen 6m-Welle erforderlich war. Dabei muß bei der längeren Welle eine deutlich größere Belastung der Haut und des

Unterhautgewebes in Kauf genommen werden. Das bedeutet aber, daß dem Bestreben, mit entsprechenden KW-Dosen in größere Tiefen einzudringen, durch die mit der übermäßigen Belastung oberflächlicher Schichten verbundenen subjektiven Beschwerden des Patienten Halt geboten wird.

Zusammenfassung

Am Institut für Röntgenologie und Physikalische Therapie der Universität München wurden Versuche durchgeführt, welche die Unterschiedlichkeit der Wirkungsweise der 6 - und der 11,05 m-Wellen zum Gegenstand hatten. Gegenüber früher durchgeführten erfuhren diese Versuche eine Erweiterung insofern, als die Temperaturvorgänge in allen Schichten des menschlichen Körpers (Haut, Subcutis, Muskulatur, Knochenmark) verfolgt worden, während man sich früher zumeist auf die Vorgänge in Fett und Muskulatur beschränkt hatte.

Nebenbei wurden die jetzigen Untersuchungen nicht an einem oder mehreren Plattenmodellen mit Gewebeschichten, die aus dem natürlichen Verband herausgelöst waren, durchgeführt, sondern an der Extremität (Oberarm) der Leiche, wodurch die tatsächlichen bei der KW-Applikation gegebenen Verhältnisse erhalten blieben.

Als Maß der zur Wirkung kommenden Energie wurde die Temperaturerhöhung genommen, die durch geeignet in das KW-Feld verteilte Quarz-Benzol-Thermometer in den einzelnen Schichten ermittelt wurde. Zur Auswertung kamen jeweils die sofort nach Einsetzen der Bestrahlung beobachteten Temperaturanstiege, da nach längerer Zeit auch an der Leiche mit nicht durchblutetem Gewebe durch Wärmeabgabe von Schicht zu Schicht eine zu große Nivellierungstendenz zur Auswirkung gekommen wäre.

Die gefundenen Temperaturerhöhungen wurden mathematisch ausgewertet und als tatsächliches Maß des Temperaturanstiegs in der Zeitelenskheit der Tangens des Temperaturanstiegswinkels bestimmt. Infolge Fehlens einer genauen Dosierungsmöglichkeit konnten die Werte beider Frequenzen nicht in direkte Beziehung zueinander gebracht werden; es wurden vielmehr die bei den einzelnen Wellenlängen in den verschiedenen Schichten erhaltenen Größen miteinander verglichen.

Hierbei zeigte sich, daß der größte Effekt in der Subcutis zu finden war, der nachstkleinere in der Cutis selbst. Doch findet sich in allen Darstellungen - der besseren Anschaulichkeit halber wurde dies auf verschiedene zeichnerische Art ausgeführt -, daß die Temperaturerhöhung und damit die Belastung in den genannten Geweben bei der 11,05m-Wellenlänge größer ist als bei 6m.

Hingegen findet sich ein schnelleres Nachlassen der Leistung in den tieferen Gewebsschichten bei 11,05m als bei 6m. Bei der Zusammenstellung in Tabellenform zeigt sich immer wieder die grössere Belastung oberflächlicher Schichten - und insbesondere der Haut - bei der 11,05m-Welle und ein deutlich stärkerer Leistungsabfall gegen die Tiefe zu, als dies bei der 6m-Welle mit ihrer geringen Oberflächenbelastung und dem weniger ausgeprägten Abfall in der Energieabgabe bis in die tiefsten Schichten (Knochenmark) der Fall war.

Beim Vergleich der erhaltenen Werte in den einzelnen Schichten weichen die von uns ermittelten Zahlen bei beiden Wellenlängen von denen früherer Autoren zum Teil erheblich ab. Dies dürfte seinen Grund in der besonderen Versuchsanordnung haben. Wir bemühten uns, die Versuchsbedingungen den in der Praxis herrschenden Verhältnissen anzugleichen und nahmen hierfür geringere theoretische Übersichtlichkeit in Kauf. Bei früheren Versuchen hingegen war an Schichtmodellen in Plattenanordnung gearbeitet worden, an denen die Energie des elektromagnetischen Feldes aber offensichtlich anders zur Auswirkung kommt als an der menschlichen Extremität.

Es konnte von uns nachgewiesen werden, daß bei KW- Durchflüssen die 6m-Welle bei gleich gewählter Oberflächenbelastung in der Tiefe einen deutlich besseren und ausgeglicheneren Effekt zeigt als es die 11,05m-Welle zu leisten imstande ist.

L i t e r a t u r

- 1) Johannes Pätzold: Die biophysikalischen Grundlagen der Kurzwellentherapie unter Berücksichtigung der sog. Mikrowellentherapie, Strahlentherapie (1953) 92:308
- 2) Josef Kowarschik: Kurzwellentherapie, 3.Aufl.Wien 1943 (Springer) S.52 f.u.S.29
- 3) Ernst Raab: Kurzwellentherapie in der Praxis, Leipzig 1937 (Thieme) S.31
- 4) Kowarschik a.a.O. S.52
- 5) Pätzold: Die biophysikalischen Grundlagen ...a.a.O. S.322
- 6) B.Rajewski u.H.Lampert: Erforschung und Praxis der Wärmebehandlung in der Medizin, einschl.Diathermie und Kurzwellentherapie, Dresden-Leipzig 1937 (Steinkopff); darin S.71 ff:
H.Schaefer: Physikalische Grundlagen der Lang-, Kurz- und Ultrakurzwellenbehandlung, S.84
- 7) Ebenda S.153
- 8) Ernst Raab: Künstliche Fiebererzeugung mit Kurzwellen, Leipzig 1939 (Thieme), S.26
- 9) R.Lotmar und E.Kaufmann: Ein Beitrag zur Wirkungsweise von Mikrowellen, Arch.physikal.Therapie 4 (1952) 6:427
- 10) A.Esau, J.Pätzold u.E.Ahrens: Temperaturmessungen an geschichteten biologischen Geweben, Naturw.(1936) 33:520
desgl. Naturw.(1938) 29:477
- 11) J. Pätzold: Untersuchungen über die Absorption und Bündelung kurzer elektromagnetischer Wellen in Elektrolyten und biologischen Geweben als Grundlage für eine medizinische Anwendung des Strahlenfeldes, Wiss.Veröff.d.Siemens-Werke (1940) 19:135
- 12) K.Osswald: Messung der Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstanten biologischer Gewebe und Flüssigkeiten bei kurzen Wellen, Hochfrequenztechnik (1937) 49:40
K.Osswald und J. Pätzold: Temperaturverteilung in geschichteten biologischen Geweben nach der Behandlung im elektromagnetischen Strahlenfeld mit Außenmedium hoher Dielektrizitätskonstante, Naturw. (1938) 29:478
- 13) H.E.Hollmann: Zur Theorie der Bestrahlung geschichteter biologischer Objekte mit ultrakurzen Wellen, Hochfrequenz (1937) 50:81
- 14) K.H.Spiller: Die Erwärmung biologischer Gewebe und Flüssigkeiten bei sehr schnellen elektrischen Schwingungen, Hochfrequenztechnik (1938) 52:129
- 15) J.Pätzold: Die biophysikalischen Grundlagen ...a.a.O. S.313
- 16) Voser u.Hübner: Das dielektrische Verhalten der wichtigsten Gewebe des menschlichen Körpers bei Mikrowellenbestrahlung. Therapeut.Umschau 10 (1953) 3:34-41
- 17) A.Böni und R.Lotmar: Temperaturmessungen an tierischen und menschlichen Geweben nach Bestrahlung mit Mikrowellen ($\lambda=17\text{cm}$) Arch.physikal.Therapie, 4 (1952) 3:174
- 18) Ebenda S.189 f.
- 19) Lotmar u.Kaufmann a.a.O.
- 20) Kowarschik, a.a.O. S.52

Abschließend darf ich Herrn Dipl.Phys.K. Dirnagl für seine
liebenswürdige Beratung, besonders bei der rechnerischen
Auswertung der Ergebnisse meinen aufrichtigen Dank sagen!

Lebenslauf

Ich, Arnd Heinrich S i n g e r , wurde am 28.4.1924 als Sohn des Arztes Dr. Heinrich Singer und seiner Frau Gertrud, geborene Arnstädt, in Saalfeld/Saale geboren.

Von 1931 - 1935 besuchte ich dort die Volksschule, anschließend bis 1938 das humanistische Gymnasium in Rudolstadt/Thür. Nach der Übersiedlung nach Garmisch-Partenkirchen ging ich hier weiter in die Oberschule für Jungen, bis ich am Ende der 7. Klasse 1942 als Offiziersanwärter eingezogen wurde. Nach dem Kriege begann ich im Sommersemester 1947 an der Universität München mein Studium, absolvierte hierbei zunächst den als Ergänzung zum Reifevermerk der Oberschule notwendigen Förderungskurs, legte 1949 das Physikum ab und im Sommersemester 1952 das Staatsexamen.

Nach dem Landvierteljahr war ich für 2 1/2 Jahre an der Internen Abteilung des Krankenhauses Garmisch-Partenkirchen angestellt und verließ diese Stellung, als sich die Möglichkeit bot, die Ausgleichszeit in Frauenheilkunde und Chirurgie unter günstigen Bedingungen abzuleisten. Dies wurde durch eine schwere Erkrankung meines Vaters unterbrochen, dessen Allgemeinpraxis ich für 1/2 Jahr führte. Im Laufe des letzten Jahres habe ich die restlichen für die Kassenpraxis erforderlichen Ausgleichsstationen (Frauenheilkunde, Chirurgie, Kinderheilkunde) erledigt und war zwischendurch wiederholt als Urlaubs- und Krankheitsvertretung sowie nochmals als Assistent in einer großen Landpraxis tätig.

Mein berufliches Ziel ist die Übernahme der väterlichen Praxis.

